



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

MONITORING DIFERENČNÍHO TLAKU FILTRŮ

MONITORING DIFFERENTIAL PRESSURE OF FILTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Vacek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: Jiří Vacek
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Monitoring diferenčního tlaku filtrů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Firma Bosch Diesel, s.r.o. Jihlava se zabývá výrobou komponentů pro vstřikovací systémy vznětových motorů. Specializuje se na dieselová vysokotlaká vstřikovací čerpadla, zásobníky paliva, tlakové regulační ventily či sériové opravy. Firma se v rámci zvyšování kvality zaměřuje na různé oblasti, jednou z nich je oblast diagnostiky a monitoringu u výrobních strojů. Bakalářská práce se zaměřuje na návrh a zavedení metody pro sledování stavu filtrů na základě monitoringu diferenčního tlaku v závodě BOSCH Diesel Jihlava, s.r.o.. Navržená metoda přinese přehled o úrovni zanešení filtrů, čímž bude možné využít jejich maximálního potenciálu.

Cíle bakalářské práce:

Pojednejte obecně o tlaku, veličinách a možnostech jeho měření a monitoringu.

Popsaťte metody pro sledování stavu filtrů ve výrobních strojích.

Analýzujte stav dle předcházejícího bodu ve výrobních oblastech firmy BOSCH Diesel Jihlava, s.r.o. a na základě výsledků navrhněte použití vhodné metody.

Zvolte pilotní oblast pro implementaci navržené metody a pojednejte o možnosti vizualizace dat z monitoringu.

Stanovte navazující kroky pro roll-out v celém závodě a provedte celkové zhodnocení včetně očekávaných přínosů a nákladů plošné implementace.

Rozeberte výsledky řešené bakalářské práce, formulujte závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. Technická diagnostika. Senzory-metody-analýza signálu. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2006, 408 s. ISBN 80-7300-158-6.

KUREKOVÁ, Eva. Measurement in Technology I. and II. : Vienna / Bratislava: Vienna University of Technology / Grafické štúdio Juriga, 2005. 724 s. ISBN 80-89112-05-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

V této bakalářské práci je nejprve pojednáno o tlaku, tlakoměrech, technické diagnostice a monitoringu. Dále jsou rozebrány metody pro monitoring stavu filtru. Následuje seznámení s aktuálním stavem sledování stavu filtrů ve výrobních oblastech ve firmě BOSCH DIESEL s.r.o. a volba pilotní oblasti pro aplikaci diferenční metody monitoringu a návrh samotného řešení. V poslední části bakalářské práce je jednoduchý finanční rozbor a návrh navazujících kroků pro rozšíření i mimo pilotní oblast. V práci je také proveden rozbor výsledků řešené bakalářské práce.

ABSTRACT

In this bachelor thesis is at first dealt with pressure, pressure, manometers, technical diagnostics and monitoring. In next part is analysis of methods of particle filters on basis of published academical papers. Following part introduces reader with current state of filter monitoring in production areas of BOSCH DIESEL ltd. and continues with choosing of pilot area for application of differential pressure monitoring method and designs solution itself. In the last part of the thesis is simple financial analysis and roll-out ideas for this method.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tlak, diferenční tlak, technická diagnostika, monitoring, sledování stavu filtru, vizualizace

KEYWORDS

Pressure, differential pressure, technical diagnostics, monitoring, monitoring of particle filter, scientific visualization

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VACEK, J. *Monitoring diferenčního tlaku filtrů*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2019, 41 s., Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu doc. Ing. Miloši Hammerovi, CSc. za vedení při zpracování bakalářské práce. Dále děkuji panu Bc. Radku Krédlovi DiS. za pomoc při řešení celého problému. Poděkování patří i jiným zaměstnancům z firmy Bosch Diesel, kteří byli ochotni věnovat této práci svůj čas.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miloše Hammera, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24.května 2019

.....

Jiří Vacek

OBSAH

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 13 |
| 2 | POJEDNÁNÍ OBECNĚ O TLAKU, VELIČINÁCH A MOŽNOSTECH JEHO MĚŘENÍ A MONITORINGU | 15 |
| 2.1 | Definice tlaku a základní pojmy | 15 |
| 2.2 | Měření tlaku | 16 |
| 2.3 | Monitoring | 19 |
| 2.4 | Vizualizace..... | 20 |
| 3 | METODY PRO SLEDOVÁNÍ STAVU FILTRŮ VE VÝROBNÍCH STROJÍCH..... | 21 |
| 4 | ANALYZOVÁNÍ STAVU VE VÝROBNÍCH OBLASTECH FIRMY BOSCH DIESEL JIHLAVA, S.R.O. A NÁVRH POUŽITÍ VHODNÉ METODY | 23 |
| 4.1 | O firmě Bosch Diesel s.r.o..... | 23 |
| 4.2 | Aktuální podoba sledování stavu filtru | 24 |
| 4.3 | Návrh použití vhodné metody..... | 26 |
| 5 | VOLBA PILOTNÍ OBLASTI PRO IMPLEMENTACI NAVRŽENÉ METODY A POJEDNÁNÍ O MOŽNOSTI VIZUALIZACE DAT Z MONITORINGU..... | 27 |
| 5.1 | Umístění pilotní oblasti v rámci závodu | 27 |
| 5.2 | Funkce filtrační jednotky | 28 |
| 5.3 | Návrh vlastní implementace | 29 |
| 6 | STANOVENÍ NAVAZUJÍCÍCH KROKŮ PRO ROLL-OUT V CELÉM ZÁVODĚ A CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VČETNĚ OČEKÁVANÝCH PŘÍNOSŮ A NÁKLADŮ PLOŠNÉ IMPLEMENTACE. | 33 |
| 6.1 | Navazující kroky..... | 33 |
| 6.2 | Celkové zhodnocení nákladů včetně očekávaných přínosů plošné implementace | 33 |
| 7 | ROZBOR VÝSLEDKŮ ŘEŠENÉ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE..... | 35 |
| 8 | ZÁVĚR | 37 |
| 9 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 39 |
| 10 | SEZNAM SYMBOLŮ..... | 41 |

1 ÚVOD

Dnešní doba je úzce spojena s iniciativou Průmysl 4.0. Aktivita jsou zaměřeny na sběr dat, jejich vyhodnocení, na vizualizaci a i vzdálené řízení strojů a zařízení. Důležité místo v prosazování myšlenek Průmyslu 4.0 zaujímají i firmy, které jsou zaměřeny na automobilový průmysl. Ve firmách se řeší různé problémy s výše uvedeným spojené. K těmto problémům určitě patří monitoring diferenčního tlaku filtrů, který je řešen ve firmě Bosch Diesel s.r.o. Jihlava. Na uvedené je zaměřena předkládaná bakalářská práce.

Pro splnění cílů bakalářské práce je třeba shromáždit informace o monitoringu tlaku, obecně o jeho veličinách a jednotkách. Rovněž je nutné popsat metody pro sledování stavu filtrů ve výrobních strojích. Protože se bakalářská práce zpracovává ve firmě BOSCH Diesel Jihlava,s.r.o., je nutné analyzovat stav řešení v samotné firmě a na základě tohoto navrhnout použití vhodného způsobu řešení pro problémy spojené se stavem filtrů ve výrobním závodě. Následně je nutné zvolit pilotní oblast realizace vhodné metody, zaměřit se na vizualizaci dat z monitoringu a provést celkové zhodnocení očekávaných přínosů a nákladů plošné implementace. Očekává se také formulace závěrů a doporučení pro praxi.

2 POJEDNÁNÍ OBECNĚ O TLAKU, VELIČINÁCH A MOŽNOSTECH JEHO MĚŘENÍ A MONITORINGU

2.1 Definice tlaku a základní pojmy

Tlak je jednou ze základních fyzikálních veličin, se kterými se lze v technické praxi často setkat. Pro označení tlaku používáme nejčastěji v souladu s normou písmeno „p“. Pro běžnou praxi jej definujeme vztahem

$$p = \frac{dF}{dS}$$

U kapalin lze s výhodou definovat tlak jako tlak hydrostatický v souladu s Pascalovým zákonem. Hydrostatický tlak působí na každou plochu řezu kapaliny a stejně ve všech směrech. Hydrostatický tlak v kapalině je určen vztahem

$$p = h\rho g$$

V různých technických aplikacích je možné se setkat s různými vyjádřeními tlaku. Tlak absolutní je tlak měřený od absolutní tlakové nuly. Barometrický tlak je tlak okolního vzduchu – atmosféry. Jiné vyjádření může být též relativními tlaky, tedy přetlakem a podtlakem. Přetlak i podtlak musí být vždy vztažen k tlaku referenčnímu, nejčastěji k tlaku barometrickému.

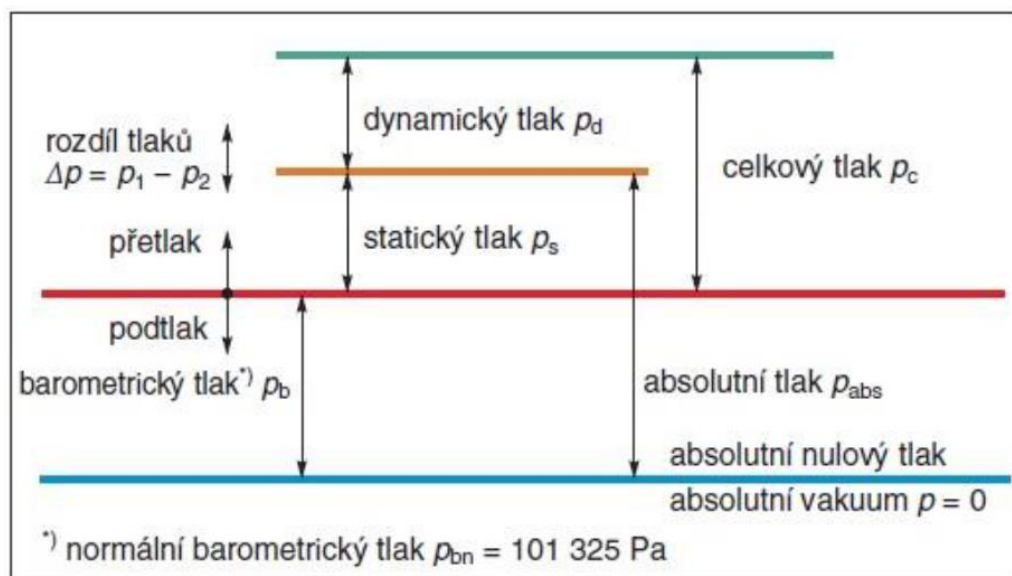
V proudící tekutině rozlišujeme tlak kinetický a dynamický. Kinetický tlak představuje tlakový účinek vyvolaný zabrzděním proudící tekutiny dané hustoty.

$$p_k = -\frac{1}{2}\rho w^2$$

Jedná-li se o tekutinu stlačitelnou (plyn), je potřeba uvažovat ještě její stlačitelnost s . Kinetický tlak se pak změní v tlak dynamický p_d .

$$p_d = p_k s$$

Níže přiložený Obr. 1 zobrazuje graficky rozdělení tlaků.



Obr. 1 Rozlišení tlaků [1]

Dle soustavy SI je jednotkou tlaku $[Pa]$, tedy jednotka odvozená ze základních $[\frac{N}{m^2}]$. Dalšími jednotkami tlaku jsou např.: bar $[bar]$, torr $[mm\ Hg]$, kilopond na čtverečný metr $[\frac{kp}{m^2}]$, technická atmosféra $[at]$ a atmosféra fyzikální $[atm]$. Tyto převody jsou uvedeny níže.

$$1\ bar = 10^5\ Pa$$

$$1\ mm\ Hg = 133,322\ Pa$$

$$1\ \frac{kp}{m^2} = 8,80665\ Pa$$

$$1\ atm = 101325\ Pa$$

$$1\ at = 98066,5\ Pa$$

[1], [2], [3]

2.2 Měření tlaku

Tlak měříme přístroji, které se nazývají tlakoměry. Tlakoměry můžeme rozdělit na základě dvou základních hledisek.

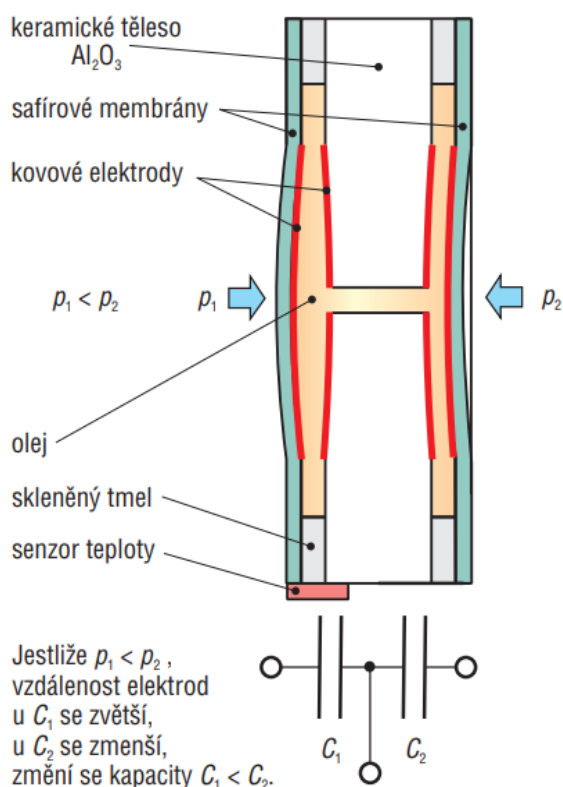
Podle určení:

1. Manometry – přístroje pro měření přetlaků.
2. Barometry – přístroje pro měření tlaku barometrického.
3. Vakuometry – přístroje pro měření podtlaků.
4. Mano vakuometry – přístroje pro měření přetlaků i podtlaků.

Podle principu:

1. Hydrostatické – měřítkem tlaku je výška sloupce kapaliny.
2. Silové tlakoměry – pístové nebo zvonové – tlak určuje hmotnost závaží na pístu známého průřezu (pístové) nebo zdvih zvonu (zvonové).
3. Deformační – tlak je měřen pomocí deformace pružného prvku, mezi často používané prvky patří Bourdonova trubice, membrána, krabice a vlnovec. Změna geometrie vlivem deformace se přenáší na ukazatel.
4. S elektrickým výstupem – změna tlakově závislé elektrické veličiny udává měřítko tlaku. U tohoto druhu dále rozlišujeme měřené jevy, a to potenciometrický, indukčnostní, optický, kapacitní, tenzometrický, rezonanční a piezoelektrický. Jelikož řešení této práce je pomocí kapacitního snímače tlaku, bude tento druh podrobněji rozebrán níže.

Kapacitní snímače tlaku jsou tvořeny jednou elektrodou ve formě membrány, jejíž poloha se mění působením tlaku, a druhá elektroda je pevná. Vlivem změny vzdálenosti elektrod dojde ke změně kapacity kondenzátoru. Tento princip se nejčastěji využívá k měření tlakové difference, přičemž v tomto případě tvoří membrána střední pohyblivou elektrodu dvojitého kondenzátoru. Takové kondenzátory jsou konstruovány tak, aby byla změna kapacity při změně tlaku co možná největší, a zároveň tak, aby byl vytvořen mechanický doraz chránící membránu proti plastické deformaci. V dnešní době je nejčastěji využívána keramická membrána jako součást keramické tlakoměrné cely. Kapacitní snímač je schematicky vyobrazen na Obr. 2.[1],[4]



Obr. 2 : Schématické zobrazení kapacitního snímače [4]

Indukčnostní snímač je uspořádán velmi podobně jako kapacitní snímač. Místo pevných snímacích elektrod jsou však v tělese převodníku zabudovány snímací cívky. Magnetický obvod je uzavřen přes jádro cívky a vzduchovou mezeru (indukčnostní snímač s otevřeným magnetickým obvodem). Měřicí membrána je zhotovena buď z feromagnetického materiálu a tvoří část magnetického obvodu, popř. je ve své aktivní části opatřena kouskem feromagnetického materiálu, anebo jádrem cívky pohybuje pomocí táhla. S výchylkou membrány se mění poměr indukčností obou cívek zapojených ve střídavém mostu, a tím dochází k jeho rozvážení. Používají se i konstrukce s jedinou snímací cívkou. [5]

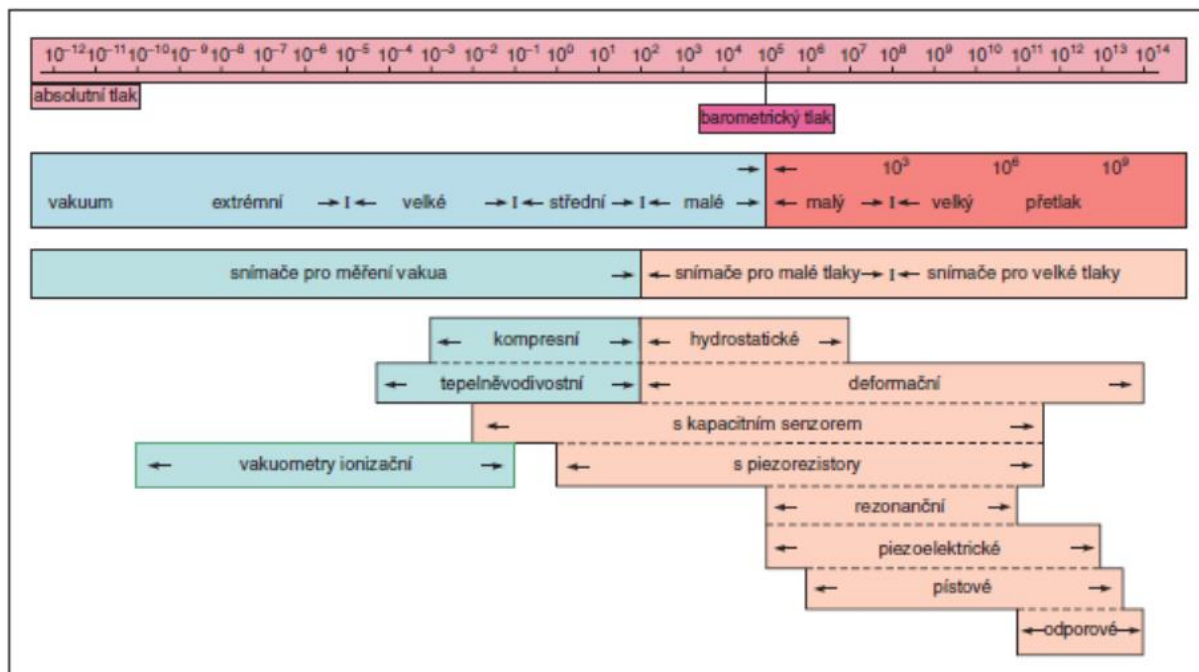
Následující Tab. 1 dává názorně do souvislosti zařazení jednotlivých snímačů, jejich měřící rozsah a jejich využití.

Tab. 1 Tabulka snímačů [4]

| Tlakoměry (snímače tlaku) | Charakteristika principu měření | Poznámka | Typ tlakoměru (snímače) | Měřicí rozsah | Přesnost (% z rozsahu) | Možnosti použití |
|--|--|--|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------|---|
| Hydrostatické tlakoměry | jsou založeny na definici hydrostatického tlaku, měřítkem tlaku je výška sloupce kapaliny | ovlivňující veličinou je hustota tlakoměrné kapaliny a její teplota | U-trubicový | závisí na hustotě | až 0,05 | v laboratořích, v metrologii, přesné barometry |
| | | | nádobkový | do 200 kPa (náplň Hg) | až 0,05 | |
| | | | mikromanometr se sklonným ramenem | do 5 kPa (náplň voda) | 1 až 3 | |
| Sílové tlakoměry | využívají definice tlaku jako síly na plochu | | zvonový | do 1000 Pa | 1 | laboratorní měření |
| | | | pístový | 0–500 MPa | 0,0015 až 0,1 | etalonové tlakoměry |
| Deformační tlakoměry | měřítkem tlaku je velikost deformace pružného prvku | | trubicový (Bourdonův) | do 10^9 Pa | běžně 1 až 2 přesné 0,1 | nejrozšířenější přímo ukazující provozní tlakoměry |
| | | | membránový | do 10^6 Pa | 0,5 až 2 | |
| | | | vlnovcový | do 10^5 Pa | 1 až 2 | |
| | | | krabicový | do 10^3 Pa | 1 až 2 | aneroid, jako barometr |
| Snímače tlaku s elektrickým výstupem | jako snímací prvek je použit vhodný deformační člen, (nejčastěji membrána) a vyhodnocuje se změna polohy | poloha jezdcu potenciometru | potenciometrický | | 0,5 až 1 | jako doplněk k deformačním manometrům |
| | | poloha jádra indukční cívky | indukčnostní | | 0,5 | |
| | | změna osvětlení či světelného toku | optický | | 0,1 | |
| | | vzdálenost elektrod kondenzátoru | kapacitní | až 70 MPa | 0,05 až 0,2 | nejčastěji používané v moderních převodnicích tlaku, přístroje provozní i laboratorní |
| | jako snímací prvek je použit deformační člen (membrána, nosník apod.) a vyhodnocuje se mechanické napětí | mechanické napětí se měří tenzometrem jako změna odporu | tenzometrický | až 60 MPa | 0,025 až 0,5 | |
| | | změna rezonanční frekvence mechanického | rezonanční | 0 až 50 MPa | 0,01 až 0,2 | nejpřesnější tlakoměry, provozní i laboratorní přístroje |
| | | vyvolání náboje při mechanickém namáhání | piezoelektrický | až 30 GPa | 1 | měření rychlých tlakových dějů a pulzací |

V technické praxi se setkáváme s potřebou měřit tlaky 10^{-12} až 10^{12} [Pa]. Tento rozsah není schopen obsáhnout žádný univerzální přístroj. Proto výše uvedené typy přístrojů vytváří postupnou řadu, která se v rozsazích vzájemně překrývá, a tak obsáhne celou škálu měřených tlaků. Vhodnost tlakoměru orientačně udává níže přiložený Obr. 3. [1],[4]

Manometry používané při měření v níže uvedené problematice mají rozmezí 0 - 4 000 [Pa], s maximálním přetlakem, který nezničí manometr 40 000 [Pa]. Tomuto rozmezí tedy dle níže uvedeného rozdělení odpovídají tlakoměry s kapacitním senzorem nebo s piezorezistory. Odpovídajícímu rozmezí vyhovuje i manometr indukčnostní, který není v níže uvedeném rozdělení uveden.



Obr. 3 Orientační rozdělení tlakoměrů podle rozsahu [1]

2.3 Monitoring

V technické praxi je monitoring součástí technické diagnostiky, následně bude pojednáno o technické diagnostice.

Technická diagnostika je samostatný obor zabývající se bezdemontážními a nedestruktivními metodami a prostředky stanovení technického stavu objektu. Technická diagnostika na rozdíl od lékařské diagnostiky je založena na znalostech, které kromě heuristického charakteru mají kauzální charakter, nebo dokonce na matematických modelech diagnostikovaných objektů. Základními principy technické diagnostiky jsou objektivnost a racionálnost.

Diagnóza je vyhodnocení okamžitého technického stavu objektu. Z hlediska terminologie spolehlivosti se jedná o vyhodnocení provozuschopnosti objektu za daných technických podmínek.

Diagnostický objekt je libovolný objekt, jenž je diagnostikován.

Diagnostická veličina je nejčastěji jednoduše měřitelná fyzikální veličina, která charakterizuje stav objektu. Např. tlak, vibrace, výchylka, rychlost, zrychlení, síla, elektrické veličiny, aj.

Diagnostický systém je organizovaný soubor tvořený objektem diagnostiky, diagnostickými prostředky, jejich obsluhou a souborem pracovních postupů (diagnostických algoritmů).

Diagnostické prostředky tvoří soubor technických zařízení a pracovních postupů pro analýzu a vyhodnocení stavu diagnostikovaného objektu.

Pracovní postup je diagnostický algoritmus (tj. sled elementárních úkonů diagnostikování) včetně programového vybavení pro vyhodnocování dat, aplikace pokročilých

metod zpracování signálů, metod výběru vhodných diagnostických parametrů, sestavení matematických modelů aj.

Diagnostické systémy se dělí na off-line a on-line.

Off-line systémy umožňují diagnostikovat pouze objekt, který je mimo provoz. Někdy se tímto pojmem myslí i sběr dat pomocí kolektorů a následná podrobná analýza a vyhodnocení, které však probíhá na odděleném pracovišti a s časovým odstupem.

On-line diagnostické systémy umožňují diagnostikovat objekt při provozu. Pokud je měřicí systém trvale nebo periodicky připojen k diagnostikovanému objektu, hovoříme o monitorování, tj. průběžném nebo pravidelném sledování technického stavu objektu a vyhodnocování trendu vad nebo mezních bezpečnostních stavů, při kterých je nutno objekt z provozu odstavit. [1], [6]

2.4 Vizualizace

Vizualizaci definují pánové Sochor, Beneš, Felker a Žára takto „*Vizualizace (Scientific Visualization) je proces zkoumání dat a informací po jejich převedení do grafické podoby. Jejím cílem je, obdobně jako u numerické analýzy, pochopení zkoumaných jevů a vniknutí do problému. Proto o vizualizaci mluvíme též jako o vizuální analýze dat.*“ [7]

Vizualizaci je dále možné rozdělit na základě způsobu získání vstupních dat na dva případy. V prvním případě je k dispozici pevný počet prvků, je tedy často nutné převzorkování a interpolace. Tím může dojít k chybám. V druhém případě je k dispozici neomezený počet prvků, které jsou získávány na základě matematického výpočtu – simulace. [7]

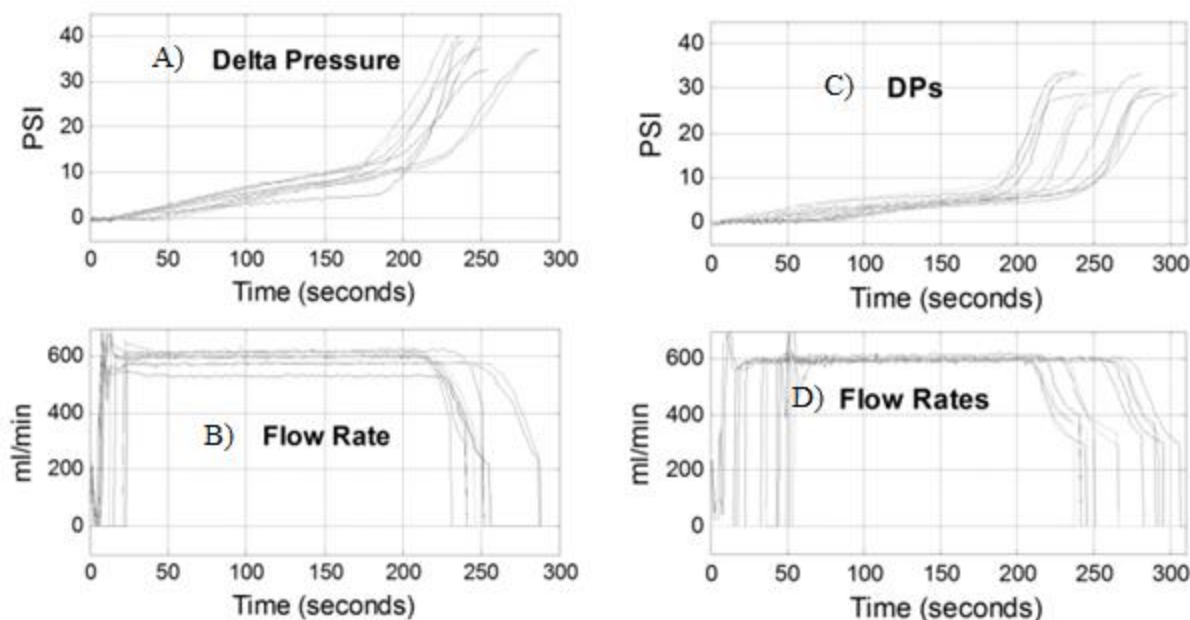
Konkrétní případ vizualizace lze nalézt v kapitole 3, kde je i řádně popsána.

3 METODY PRO SLEDOVÁNÍ STAVU FILTRŮ VE VÝROBNÍCH STROJÍCH

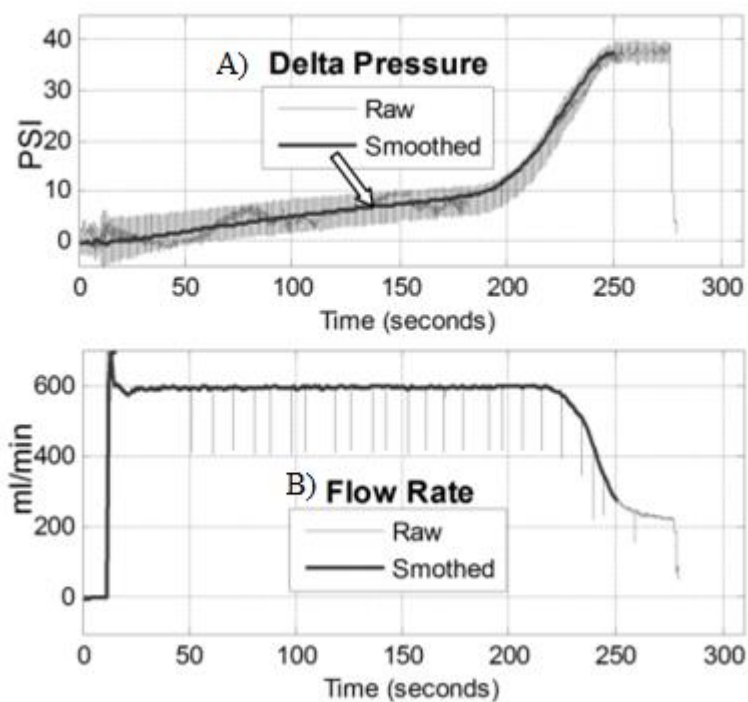
Vzhledem k zadání (řešení) je pozornost této práce věnována olejovým filtrům. Jedna z možností sledování stavu těchto filtrů je pomocí sledování průtoků, respektive rozdílů průtoků před a za filtrem.

Nejrozšířenější metodou je diagnostika pomocí tlakové difference. Ta spočívá v měření rozdílů statických tlaků před a za filtrem. Tento rozdíl tlaků existuje i v novém filtru a popisují jej Darcyho-Wiesbachův vztah a Kozeny-Carmanovy rovnice, které se obvykle používají pro proudění tekutiny porézním médiem.

Na grafech z výzkumu „Filter Clogging Data Collection for Prognostics“, který se zaměřil na problematiku ucpávání filtru z hlediska závislosti změny tlakové difference, měření před a za filtrem, a průtoku měřeného taktéž. Jako dva typy vzorků byly zvoleny palivové filtry se 125 mikrometrovými póry. Výsledky tohoto výzkumu vizualizují grafy přiložené v Obr. 4 a 5. Na těchto grafech je patrná rozdílná doba do ucpání, výše uvedený výzkum uvádí, že při těchto měřeních dosahovala velikost této rozdílné doby 22 % až 30 % celkové doby do ucpání filtru. Tento interval byl v dalším měření snížen na 12 % minimalizováním pružnosti potrubí. Dalším zajímavým poznatkem tohoto výzkumu je, že bod zlomu tlaku „předbíhá“ bod zlomu průtoku, z toho důvodu je nevhodné využívat pouze průtokového měření k predikci stavu filtru, neboť tímto měřením zbývá málo času pro úkony spojené s výměnou filtru. Toto předbíhání je lépe patrné z grafu jednoho měření, který je na Obr. 5. Tento graf dále ukazuje nutnost úpravy dat, která oscilují v důsledku práce čerpadla. [8],[9]



Obr. 4 A) Průběh rozdílů tlaků filtru 1, B) Průběh průtoku za filtrem 1, C) Průběh rozdílů tlaků filtru 2, D) Průběh průtoku za filtrem 2 [8]



Obr. 5 A) Průběh rozdílů tlaků, B) Průběh průtoku [8]

4 ANALYZOVÁNÍ STAVU VE VÝROBNÍCH OBLASTECH FIRMY BOSCH DIESEL JIHLAVA, S.R.O. A NÁVRH POUŽITÍ VHODNÉ METODY

4.1 O firmě Bosch Diesel s.r.o.

Bosch Diesel s.r.o. byl založen roku 1993 jako divize Mobility Solutions. Z počátečních sto šedesáti zaměstnanců a jednoho závodu se postupně stal největší celosvětový výrobní závod vyrábějící dieselové vstřikovací systémy Common Rail v rámci Bosch Group. Počet zaměstnanců dosahuje k pěti tisícům a firma je tudíž největší zaměstnavatel kraje Vysočina. Firma se od roku 1993 rozrostla nejen o počet zaměstnanců, ale i o počet závodů, a to o dva. Výroba ve všech závodech je orientována na výrobu již zmíněného Common Rail a jeho komponentů, tedy na vysokotlaká vstřikovací čerpadla, vysokotlaké zásobníky (raily) a tlakové regulační ventily.

Common Rail je zařízení využívané u dieselových motorů. Jeho funkcí je vstřikování paliva z vysokotlakého zásobníku, s tím, aby bylo dosaženo efektivnějšího využití paliva, tedy k jeho rozprášení na co možná nejmenší částice. Common Rail včetně čerpadla a řídicí jednotky je zobrazen na Obr. 6 níže. [10]

Motivace pro řešení této problematiky lze nalézt ve smyslu každého podniku – minimalizace výdajů a maximalizace zisků. Dále toto řešení zapadá do moderního pojetí průmyslu, tedy průmyslu 4.0, a to už ze samé podstaty řešení, tedy sběrem dat, jejich automatickým vyhodnocením a možností zobrazení kdekoli.



Obr. 6 Rail včetně čerpadla a vyhodnocovací jednotky [11]

4.2 Aktuální podoba sledování stavu filtru

Aktuálně je většina filtračních jednotek v závodě monitorována pomocí analogových diferenčních manometrů, které měří rozdíl statických tlaků před a za filtrem. Jak je možné vidět na přiložené fotografii, Obr. 7, tak je na každém manometru vyznačena „zelená oblast“, tedy oblast normálních pracovních tlaků, dále je vyznačena „oranžová oblast“, která značí nutnost výměny filtru a

přechodová „oranžová oblast“. Tato technická varianta problému stanovující aktuální stav filtru je velice jednoduchá na řešení, aplikaci a finančně nenáročná. Zapojení současné metody měření vyfotografováno na Obr. 8, 9. Největší slabinou tohoto způsobu měření je však to, že tímto způsobem není možno například bez ručního záznamu údajů predikovat stav filtru.

Další nevýhodou tohoto řešení je neschopnost zamezit chybnému měření vlivem prasklé, nedostatečně těsné hadičky. Digitálním měřením je možné tomuto předcházet tím, že pokud bude tlak na delším časovém úseku klesat v případě zvětšující se netěsnosti nebo dojde k náhlému skoku vlivem prasknutí hadičky, dojde k upozornění údržby, která může zjistit rychle příčinu problému a rychle jej odstranit.



Obr. 7 Detail současného zapojení měření



Obr. 8 Detail současného zobrazení měření



Obr. 9 Filtrační jednotka

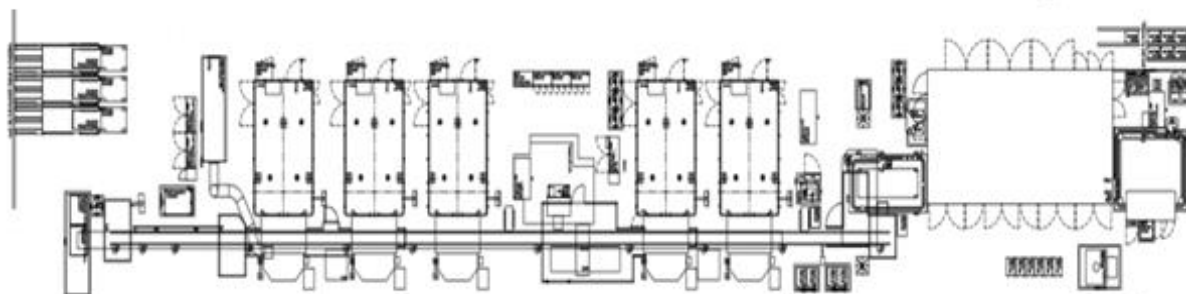
4.3 Návrh použití vhodné metody

Jelikož tématem této bakalářské práce je monitoring diferenčního tlaku, nikoliv monitoring průtoku, tak nemá smyslu uvažovat o využití jiné metody. Druhým důvodem, proč využít metodu diferenčního tlaku, je stávající technický stav filtrační jednotky, tedy stav, kdy je již měření diferenčního tlaku v chodu, leč v jednoduchém provedení. Není tedy potřeba dlouhodobější odstavky. Odstávka je nutná z toho důvodu, že tlakové senzory není možné zapojit do zařízení pod tlakem, s tím, že zásah do zařízení jako takového není žádný.

5 VOLBA PILOTNÍ OBLASTI PRO IMPLEMENTACI NAVRŽENÉ METODY A POJEDNÁNÍ O MOŽNOSTI VIZUALIZACE DAT Z MONITORINGU

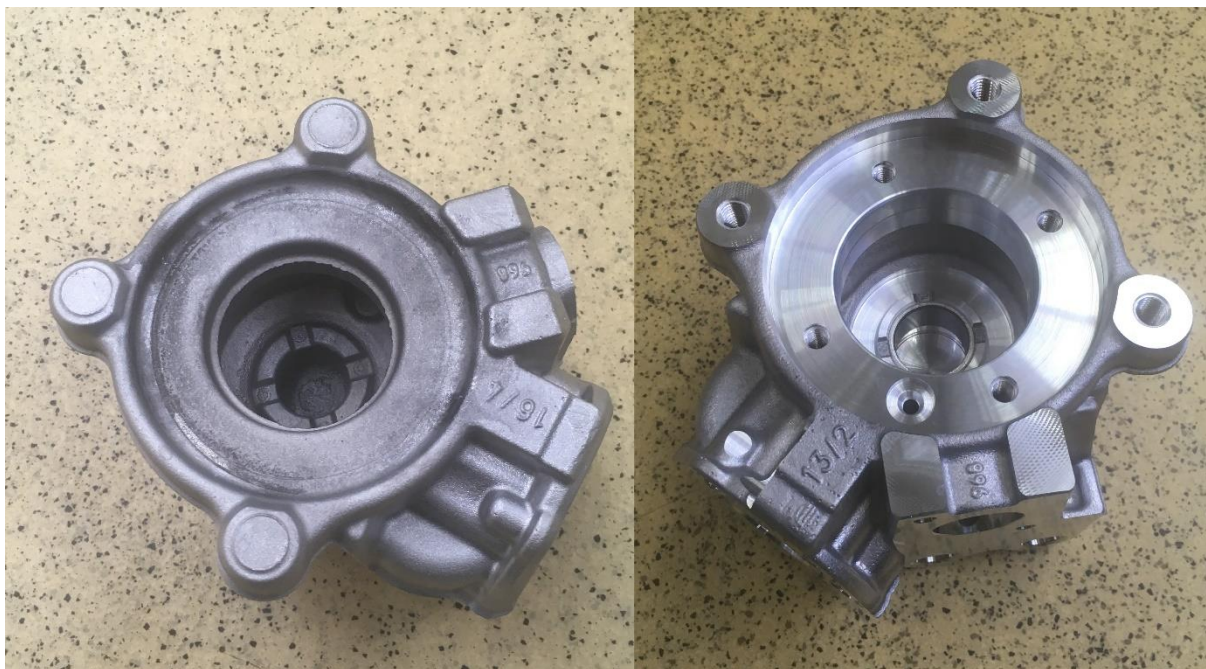
5.1 Umístění pilotní oblasti v rámci závodu

Pro volbu pilotní oblasti byla zvolena filtrační jednotka, Absolent AB A.smoke 120, která je součástí linky na výrobu části vysokotlakých čerpadel CP4. Těchto linek se v závodě nachází téměř desítka, bude tedy bezproblémové toto řešení rozšířit do celého závodu. Tato pilotní oblast byla zvolena na základě doporučení specialisty, z důvodu existence již funkčního, leč jednoduchého měření a z důvodu největšího pozitivního dopadu. Hlavní motivací pro změnu způsobu měření je již nedostatečná nutnost osobní kontroly tlaku členem údržby.



Obr. 10 Rozvržení (layout) linky pilotní oblasti

Layout, tedy rozvržení, obráběcí linky čerpadel CP4 je zobrazen výše (Obr. 10). Obráběcí linka začíná v pravo pračkou, jejíž funkcí je obrobek očistit a zároveň vysokotlakým vodním paprskem i zbavit třísek ve vnitřním průměru. Tělo čerpadla dále získává požadované parametry v celkem pěti obráběcích centrech a jednom lisu. Posledním prvkem této linky je filtrační jednotka, jejíž funkce je posána v další podkapitole. Výsledek práce této linky je možné vidět na těle čerpadla CP4 níže na Obr. 11.



Obr. 11 A) Tělo čerpadla CP4 před obrobení, B) Tělo čerpadla CP4 po obrobení

5.2 Funkce filtrační jednotky

Filtrační jednotka slouží k filtraci zachycené olejové mlhy, která vzniká při obrábění hned v několika obráběcích centrech, které jsou součástí linky. Olejová mlha je nejprve odsáta, následně je trojstupňově přefiltrována. Konkrétní využívaný filtr je přiložen ve fotografii níže (Obr. 12). Spotřeba je okolo deseti filtrů ročně pro závod Pávov. Filtrát (čistý olej) se z filtrační jednotky odvádí do linkového zásobníku.



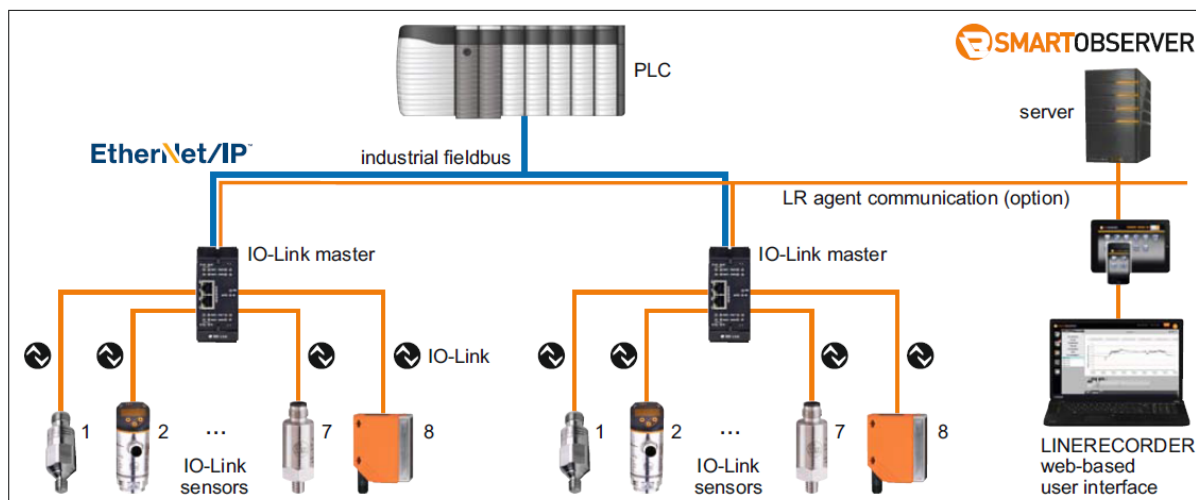
Obr. 12 Filtr využívaný ve filtrační jednotce

5.3 Návrh vlastní implementace

Vlastní implementace vychází z následujících skutečností. Bude proveden návrh vlastní realizace, jak monitoring diferenčního tlaku filtrů zrealizovat. Bude se vycházet z vhodných senzorů od renomovaného výrobce a signály od těchto senzorů budou sbírány pomocí vhodné vyhodnocovací jednotky. Bude se přitom vycházet z možnosti využít podobných zařízení, která jsou k dispozici ve firmě. Dále se předpokládá, že získaná data budou umístěna do vhodné databáze a budou vhodně zpracována a bude využit dostupný software, který je k dispozici ve firmě a ke kterému budou zakoupeny vyhodnocovací jednotky. Podobně se bude postupovat v případě vizualizace dat, bude snaha využít již nabytých zkušeností z řešení dřívějších experimentů v rámci vibrodiagnostiky.

Následující pojednání uvede dvě varianty měření včetně jejich komponent, výhod a nevýhod. Pro každou variantu je společné finální řešení, tj. sběr dat do databáze a jejich následná zpracování a vizualizace, které proběhnou v obou dvou variantách ve stejném duchu za použití softwaru od společnosti IFM – Linerecorder smart observer. Schéma zapojení je na Obr. 13.

Parallel sensor communication



Obr. 13 Schéma zapojení [12]

V první variantě je měření zajištěno pomocí diferenčního snímače od firmy BHV senzory. Za snímač byl vybrán BHV5355 (Obr. 14) v provedení měření rozdílu tlaků v rozsahu 0-5 KPa, tento snímač snímá rozdíl tlaků na základě indukční metody. Tento snímač má šestnácti bitový výstup, proto je pro něj zvolena vyhodnocovací jednotka VSE100 od firmy IFM. Tato vyhodnocovací jednotka bude využita zejména z důvodu jejího nasazení ve firmě pro monitoring vibrací, což zjednoduší její připojení, díky již dřívějším zkušenostem techniků. Dále následuje zaslání dat do databáze a výše uvedený postup. Hlavní nevýhodou je neproověřený dodavatel, který je však český, a tudíž je dodání rychlé. Výhodou je ideální rozsah, který zajistí potřebnou přesnost. Cena u této varianty se pohybuje okolo osmdesáti tří tisíc korun českých.



Obr. 14 Diferenční snímač tlaku BHV5355 [13]

Druhá varianta je rozdílná hlavně ve způsobu měření. Jelikož ve spolupráci s firmou IFM není možné zajistit přímé diferenční měření tlaku z toho důvodu, že diferenční snímače tlaku nejsou jimi vůbec vyráběny. To znamená, že měření je možné realizovat pomocí čtyř senzorů, které jsou schopny měřit tlak jen vůči tlaku atmosférickému, vybraný senzor je na Obr. 15. Vybrán by senzor PN7594 s keramickou buňkou, jenž má i výhodu širšího využití z důvodu možnosti nastavení rozsahu. Další postup by byl shodný s postupem předchozí varianty, tedy, že signál z těchto senzorů bude sbírán pomocí jednotky AL1322, z které budou data opět odesílána do databáze. Hlavní nevýhodou této varianty je volba senzoru, který není schopen měřit jiný tlak než rozdílný vůči atmosféře, to zvyšuje počet nutných senzorů o jeden, což činí tuto metodu náchylnější k chybě. Výhodou je výrobce, tedy IFM, který je již prověřeným a dlouhodobým dodavatelem pro firmu Bosch, což má za následek nižší cenu než ve variantě první. Cena se pohybuje okolo šedesáti tisíc na pilotní oblast.



Obr. 15 senzor PA3589 [14]

Samotné zobrazení u stroje je možné ponechat v takovém stavu, v jakém bylo před zásahem. Tedy ponechat analogový výstup paralelně s výstupem digitálním. Toto řešení vyžaduje jen výměnu jednoduchých hadiček za hadičky s rozdělením, přičemž by vedla jedna větev do starých manometrů a druhá by vedla do tlakových senzorů. Důvodem tohoto řešení je minimalizování rizika úplného ucpání filtru z důvodu neupozornění na jeho stav kvůli softwarové chybě.

6 STANOVENÍ NAVAZUJÍCÍCH KROKŮ PRO ROLL-OUT V CELÉM ZÁVODĚ A CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VČETNĚ OČEKÁVANÝCH PŘÍNOSŮ A NÁKLADŮ PLOŠNÉ IMPLEMENTACE.

6.1 Navazující kroky

Navazující kroky lze bodově popsat takto.

- 1) A) Osazení na pilotní oblasti a experimentální určení optimálního tlaku, při kterém by mělo dojít k upozornění na stav filtru tak, aby byl čas na jeho objednání a hlavně dodání, pokud není na skladě, toto objednání může být poloautomatizováno ve smyslu objednání po potvrzení příslušnou autoritou.
B) Také určení optimálního tlaku pro výměnu filtru, aby byl dostatek času pro naplánování výměny.
- 2) Rozšíření na totožné filtrační jednotky paralelních linek, kterých je v závodě necelá desítka, může probíhat úplně stejně jako implementace pilotní oblasti včetně využití stejných senzorů a vyhodnocovacích jednotek.
- 3) Rozšíření do jiných filtračních jednotek vyžaduje korekturu senzorů ve smyslu nalezení správného rozsahu, který je podstatně jiný, jedná-li se o mlhový filtr, jako v pilotní oblasti, nebo filtraci kapaliny. Načež přichází na řadu opět ladění optimálního tlakového rozdílu, aby byl dostatek času.

6.2 Celkové zhodnocení nákladů včetně očekávaných přínosů plošné implementace

Náklady na zajištění plošné implementace v rámci třetího jihlavského závodu se pohybují okolo 830 000 Kč při využití první varianty a okolo 600 000 Kč při využití druhé varianty. Očekávaný přínos z důvodu přesnějšího měření a možnosti predikce, a tedy vhodnosti a naplánování, výměny filtru se odhaduje na ušetření jednoho až dvou filtrů ročně. Dalším ne přímo finančním přínosem je minimalizace zastavení výroby z důvodu ucpání filtru a čekání na jeho objednávku a dodání, což může trvat i v řádu měsíců. K tomuto efektu přispěje, již v kapitole 3.1 zmíněná minimalizace rizika špatného měření, která je ošetřena softwarově. Další výhodou a důvodem pro toto řešení je ušetření lidské práce ve smyslu zmírnění nutnosti kontrolovat stav osobně. Výhodou je také ušetření skladovacího místa ve smyslu minimalizace doby a počtu uskladněných filtrů, počítá se se snížením stavu z devíti kusů na kusy tři, tedy na výměnu celé jedné filtrační větve.

Celkový roční přínos, z výše uvedených důvodů a zdrojů, činí 315 000 Kč. Tedy návratnost celého projektu činí 1,9 roku pro variantu se senzory od IFM a při variantě se senzory od firmy BHV je návratnost vypočtena na 2,6 roku.

7 ROZBOR VÝSLEDKŮ ŘEŠENÉ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Výsledky této práce lze stručně shrnout do těchto bodů:

1. Byla rozebrána obecná teorie o tlaku, technické diagnostice, monitoringu a byla definována vizualizace.
2. Byly uvedeny metody pro sledování stavu filtru za pomoci průtoku a za pomoci diferenčního tlaku. Bylo také uvedeno, proč není vhodné měření pomocí průtoku, tedy proč se téměř veškerá strojírenská praxe obrací výhradně na metodu diferenčního tlaku.
3. Byl popsán současný stav měření ve třetím jihlavském závodě společnosti Bosch Diesel s.r.o., tedy jak v současnosti probíhá měření a na čem je závislá výměna filtru, její nevýhody a výhody.
4. Na základě domluvy s firmou Bosch Diesel byla zvolena pilotní oblast v rámci třetího jihlavského závodu. Tato oblast byla popsána a byla navržena dvě řešení v rámci této práce, tedy pomocí monitoringu diferenčního tlaku.
5. Bylo provedeno finanční a nefinanční vyhodnocení dopadů aplikace řešení, které bylo rozebráno v předchozím bodě.
6. Doporučení z bodu 4. bakalářské práce je možné doporučit k zavedení do firemní praxe (kap.5,6).

8 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byl rozebrán současný stav měření diferenčního tlaku filtrů ve filtrační jednotce Absolent AB A.smoke 120, která byla zvolena jako pilotní oblast pro monitoring diferenčního tlaku, včetně jeho vyhodnocení a vizualizace. Následoval návrh tohoto monitoringu, který zde byl navrhnut ve dvou variantách. První varianta byla zajištěna přímým měřením diferenčního tlaku, kdežto druhá metoda byla zajištěna nepřímým měřením, tedy měřením s pomocí senzorů, které jsou schopny měřit pouze rozdíl mezi tlakem a atmosférou. Tato druhá metoda vyžaduje přednostně zjistit pracovní tlak ve filtrační jednotce, neboť v rámci práce nebyl zjištěn. Obě varianty mají společnou vyhodnocovací jednotku a následující postup, tedy odeslání dat do databáze a jejich vyhodnocení a vizualizace pomocí softwaru. Jako poslední část této práce jsou uvedeny navazující kroky, které by měly přijít při osvědčení tohoto měření, a odhadované finanční a nefinanční následky zavedení monitoringu.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HAMMER, M. *Základy technické diagnostiky (CTD) (přednáška)*. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 26.4.2018.
- [2] BALÁTĚ, Jaroslav a Ivan ŠVARC. *Technická měření*. [2.], nezm. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1970, 292 s.: il.
- [3] ÇENGEL, Yunus A a John M. CİMBALA. *Fluid mechanics: fundamentals and applications*. 3rd ed. New York: c2014: McGraw-Hill, 2014, xxii, 1000 s.: il. ISBN 978-0-07-338032-2.
- [4] KADLEC, Karel. *Měření provozních veličin v cukrovarnictví*. Listy cukrovarnické a řepařské. Praha, 2016, 2016(11), 360-364.
- [5] Automa: Snímače tlaku a měřicí technika [online]. 2011, 2011(1) [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/42719.pdf
- [6] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: BEN, 2006, 406 s.5-23: il. ISBN 80-7300-158-6.
- [7] SOCHOR, Jiří; BENEŠ, Bedřich; FELKEL, Petr; ŽÁRA, Jiří. *Vizualizace (Vizualization)*. 1. vyd. Praha: FEL ČVUT Praha, 1997. 197 str. ISBN 80-01-01582-3.
- [8] EKER, Omer Faruk, Dr. Fatih CAMCI a Ian JENNION. *Filter Clogging Data Collection for Prognostics*. In: Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society 2013. Cranfield University, UK, 2013, s. 1-9.
- [9] IGNJATOVIC, Ivana, Dragan ŠEŠLIJA, Laslo TARJAN a Slobodan DUDIC. *Wireless sensor system for monitoring of compressed air filters*. Journal of Scientific & Industrial Research. 2012(71), 334-340.
- [10] Jihlava [www.Bosch.cz](http://www.bosch.cz) [online]. [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-v-ceske-republice/jihlava/>
- [11] Common rail. Delphi-Diesel servis Brno a okolí [online]. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://dieselservisbrno.cz/common-rail/>
- [12] VOJÁČEK, Antonín. Parallel sensor communication. In: Automatizace.hw [online]. 2018, 28.1.2018 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/8kanalovy-io-link-ethernet-profinet-master-s-web-serverem-ifm-ay10xx.html>
- [13] Diferenční snímač tlaku BHV5355. In: BHV senzory [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://www.bhvsenzory.cz/cs/product-2-diferencni-snimace-tlaku-bhv-5355>
- [14] IFM PA7594 [online]. Praha 4 – Michle: ifm electronic, spol. s r.o, ©2019 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/PN7594>

10 SEZNAM SYMBOLŮ

| | | |
|--------|----------------------|-------------------|
| p | [Pa] | Tlak |
| F | [N] | Síla |
| S | [m ²] | Plocha |
| h | [m] | Výška |
| ρ | [m ³ /kg] | Hustota |
| g | [m/s ²] | Tíhové zrychlení |
| p_k | [Pa] | Tlak kinematický |
| w | [m/s] | Rychlost proudění |
| p_d | [Pa] | Tlak dynamický |